

Espelho Côncavo

Método mecânico

1. Coloque o espelho sobre a mesa, tendo o cuidado de verificar se ele se encontra perfeitamente horizontal.
2. Meça o raio da esfera de aço e registre o seu valor e uma estimativa da incerteza associada para esta medida.
3. Largue a pequena esfera de aço da borda do espelho e meça o período das oscilações. Repita as medidas um número de vezes suficiente para estimar o valor médio do período das oscilações e a sua incerteza.
4. A partir do valor do período, determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa da incerteza associada a este valor.

Espelho Côncavo

Método mecânico

Ter atenção à Física!

1. Coloque o espelho sobre a mesa, tendo o cuidado de verificar se ele se encontra perfeitamente horizontal.
2. Meça o raio da esfera de aço e registre o seu valor e uma estimativa da incerteza associada para esta medida.
3. Largue a pequena esfera de aço da borda do espelho e meça o período das oscilações. Repita as medidas um número de vezes suficiente para estimar o valor médio do período das oscilações e a sua incerteza.
4. A partir do valor do período, determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa da incerteza associada a este valor.

Espelho Côncavo

Método mecânico

Ter atenção à Física!

1. Coloque o espelho sobre a mesa, tendo o cuidado de verificar se ele se encontra perfeitamente horizontal.
2. Meça o raio da esfera de aço e registre o seu valor e uma estimativa da incerteza associada para esta medida.
3. Largue a pequena esfera de aço da borda do espelho e meça o período das oscilações. Repita as medidas um número de vezes suficiente para estimar o valor médio do período das oscilações e a sua incerteza.
4. A partir do valor do período, determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa da incerteza associada a este valor.

Nunca esquecer as incertezas, mesmo que elas não sejam explicitamente pedidas!

Espelho Côncavo

Método mecânico

Ter atenção à Física!

1. Coloque o espelho sobre a mesa, tendo o cuidado de verificar se ele se encontra perfeitamente horizontal.
2. Meça o raio da esfera de aço e registre o seu valor e uma estimativa da incerteza associada para esta medida.
3. Largue a pequena esfera de aço da borda do espelho e meça o período das oscilações. Repita as medidas um número de vezes suficiente para estimar o valor médio do período das oscilações e a sua incerteza.

Nunca fazer apenas uma medida!

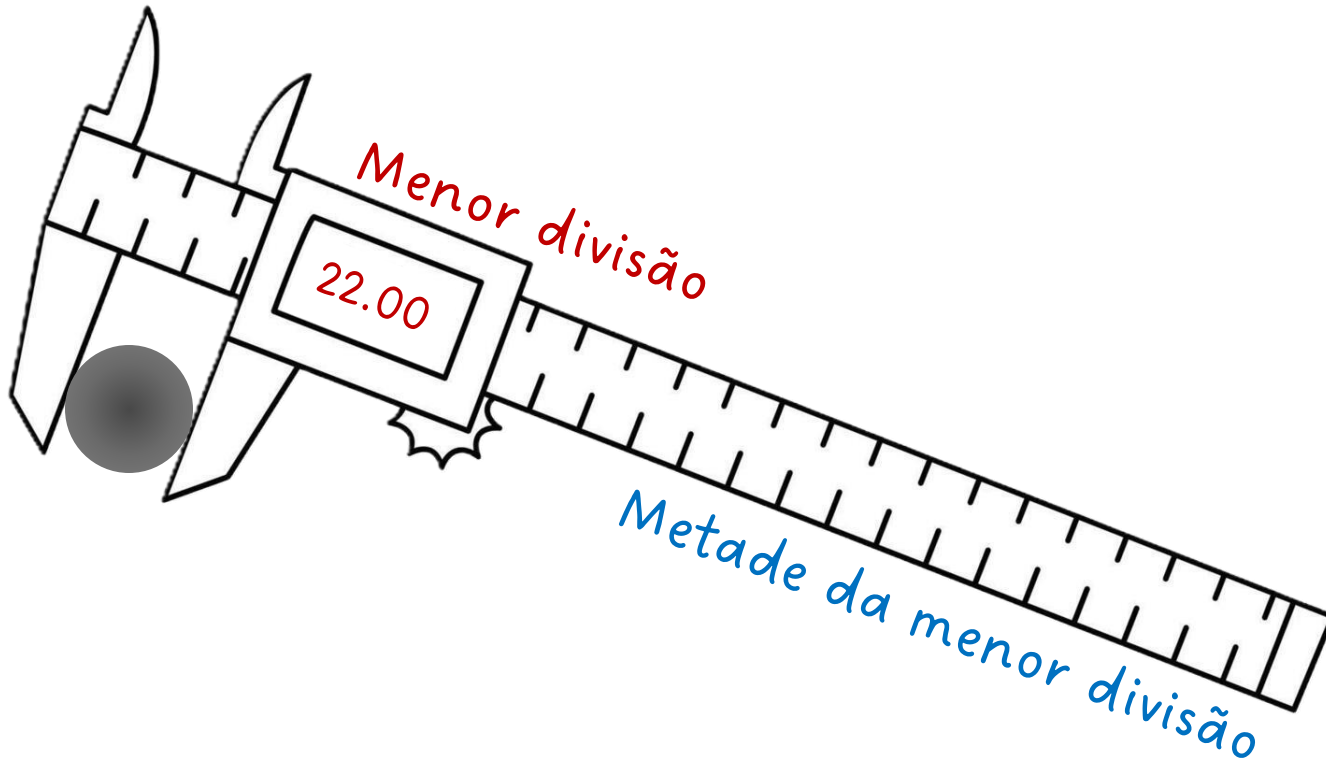
4. A partir do valor do período, determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa da incerteza associada a este valor.

Nunca esquecer as incertezas, mesmo que elas não sejam explicitamente pedidas!

Espelho Côncavo

Método mecânico

2. Meça o raio da esfera de aço e registre o seu valor e uma estimativa da incerteza associada para esta medida.



$$d = (22.00 \pm 0.01) \text{ mm}$$

$$r = (11.000 \pm 0.005) \text{ mm}$$

Ver manual
/ aparelho



Espelho Côncavo

Método mecânico

3. Largue a pequena esfera de aço da borda do espelho e meça o período das oscilações. Repita as medidas um número de vezes suficiente para estimar o valor médio do período das oscilações e a sua incerteza.



Espelho Côncavo

Método mecânico

Medir pelo menos 10-20 vezes

3. Largue a pequena esfera de aço da borda do espelho e **meça o período das oscilações**. **Repita as medidas um número de vezes suficiente para estimar o valor médio do período das oscilações e a sua incerteza.**



Medições de 5T (em segundos)

7.70	7.67	7.60	7.65	7.77
7.59	7.82	7.77	7.52	7.72

Incerteza em cada medição: ± 0.01 s

$$\langle 5T \rangle = (7.681 \pm 0.030) \text{ s}$$

$$\langle T \rangle = (1.5362 \pm 0.0059) \text{ s}$$

$$\sigma_{\mu} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Espelho Côncavo

Método mecânico

4. A partir do valor do período, determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa da incerteza associada a este valor.

$$r = (9.000 \pm 0.005) \text{ mm} \quad R = r + \frac{5T^2 g}{28\pi^2} \quad \langle T \rangle = (1.5654 \pm 0.0029) \text{ s}$$

$$\langle R \rangle = (0.429441 \pm ?) \text{ m}$$

$$\sigma_F^2 \approx \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots \quad ? = 0.006 \text{ m}$$

$$\left[(r + \sigma_r) + \frac{5(T + \sigma_T)^2 g}{28\pi^2} \right] - \left[r + \frac{5T^2 g}{28\pi^2} \right] \quad ? = 0.007 \text{ m}$$



Espelho Côncavo

Método ótico

1. Ligue o objeto luminoso acionando o interruptor.
2. Coloque o espelho na vertical usando o bloco de plasticina para o seu apoio.
3. Coloque o objeto luminoso em várias posições relativamente ao espelho e desloque o ecrã em relação ao espelho por forma a obter uma imagem focada do objeto projetada no ecrã. Registe a posição do objeto e da imagem medidas com a régua.
4. Repita as medidas para várias posições do objeto e registe os resultados numa tabela.
5. Recorrendo à equação dos espelhos determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa para a incerteza associada.

Espelho Côncavo

Método ótico

3. Coloque o objeto luminoso em várias posições relativamente ao espelho e desloque o ecrã em relação ao espelho por forma a obter uma imagem focada do objeto projetada no ecrã. Registe a posição do objeto e da imagem medidas com a régua.
4. Repita as medidas para várias posições do objeto e registe os resultados numa tabela.



Espelho Côncavo

Método ótico

Medir pelo menos 10-20 vezes

3. Coloque o objeto luminoso em várias posições relativamente ao espelho e desloque o ecrã em relação ao espelho por forma a obter uma imagem focada do objeto projetada no ecrã. Registe a posição do objeto e da imagem medidas com a régua.

4. **Repita as medidas para várias posições** do objeto e registe os resultados numa tabela.

28.0	101.0
29.0	91.0
30.0	82.0
31.0	77.0
32.0	72.0
33.0	68.0
34.0	65.0
35.0	62.0
36.0	57.0
37.0	55.0
38.0	53.0
39.0	51.0
40.0	50.0
41.0	49.0
42.5	46.0



Espelho Côncavo

Método ótico

Medir pelo menos 10-20 vezes

3. Coloque o objeto luminoso em várias posições relativamente ao espelho e desloque o ecrã em relação ao espelho por forma a obter uma imagem focada do objeto projetada no ecrã. Registe a posição do objeto e da imagem medidas com a régua.

4. Repita as medidas para várias posições do objeto e registe os resultados numa tabela.

$P \pm 0.05$ (cm)	$P' \pm 0.05$ (cm)
28.0	101.0
29.0	91.0
30.0	82.0
31.0	77.0
32.0	72.0
33.0	68.0
34.0	65.0
35.0	62.0
36.0	57.0
37.0	55.0
38.0	53.0
39.0	51.0
40.0	50.0
41.0	49.0
42.5	46.0



Espelho Côncavo

Método ótico

5. Recorrendo à equação dos espelhos determine o raio de curvatura do espelho e uma estimativa para a incerteza associada.

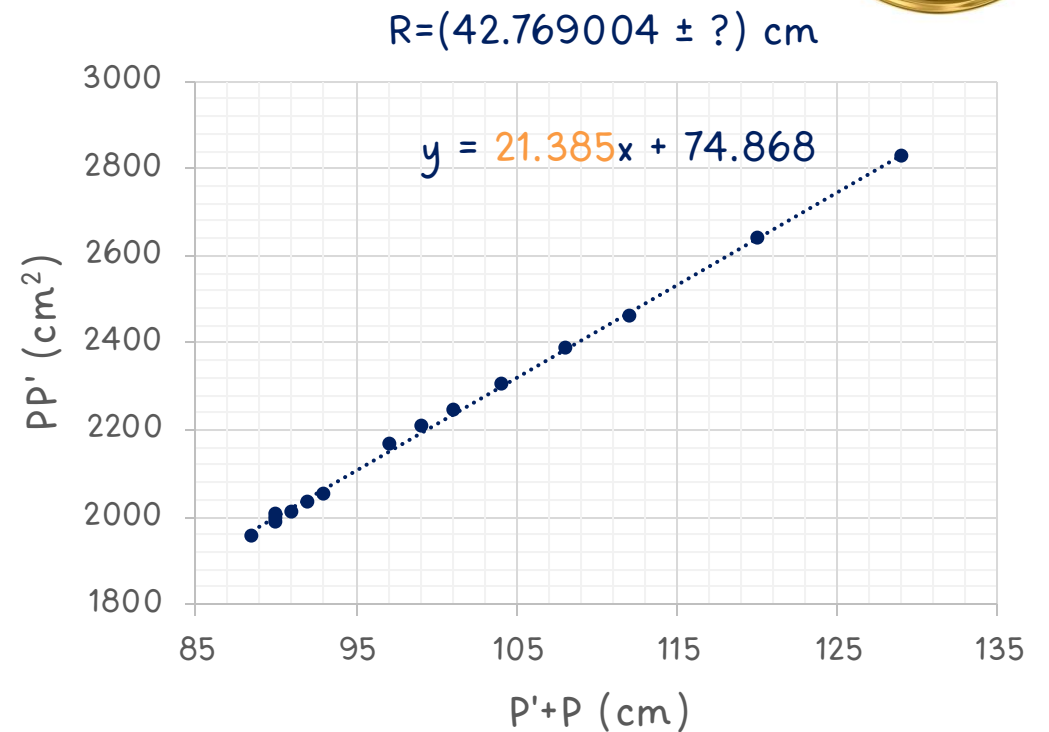
$P \pm 0.05$ (cm)	$P' \pm 0.05$ (cm)
28.0	101.0
29.0	91.0
30.0	82.0
31.0	77.0
32.0	72.0
33.0	68.0
34.0	65.0
35.0	62.0
36.0	57.0
37.0	55.0
38.0	53.0
39.0	51.0
40.0	50.0
41.0	49.0
42.5	46.0

$$R = \frac{2}{\frac{1}{P} + \frac{1}{P'}}$$

$$\frac{1}{P'} = -\frac{1}{P} + \frac{2}{R}$$

$$y = mx + b$$

$$PP' = \frac{R}{2}(P' + P)$$

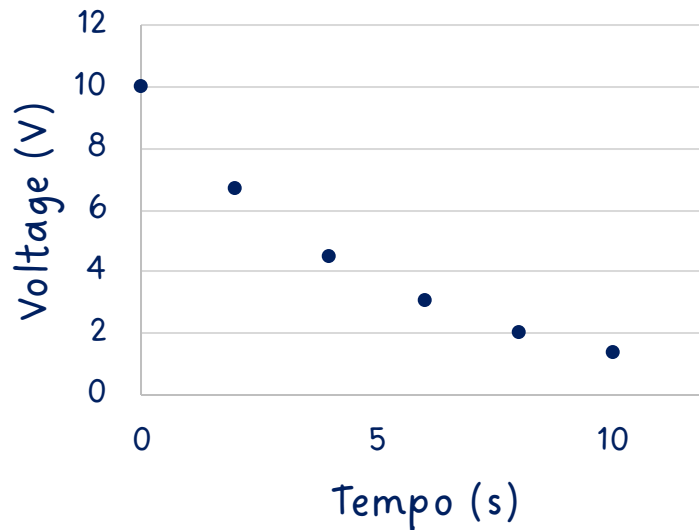


Descarga de um condensador

Um exemplo extra (e muito comum)

5. Medir a tensão num circuito ao longo do tempo para determinar a constante RC .

t (s)	v (V)
0	10.00
2	6.70
4	4.49
6	3.01
8	2.02
10	1.35



$$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

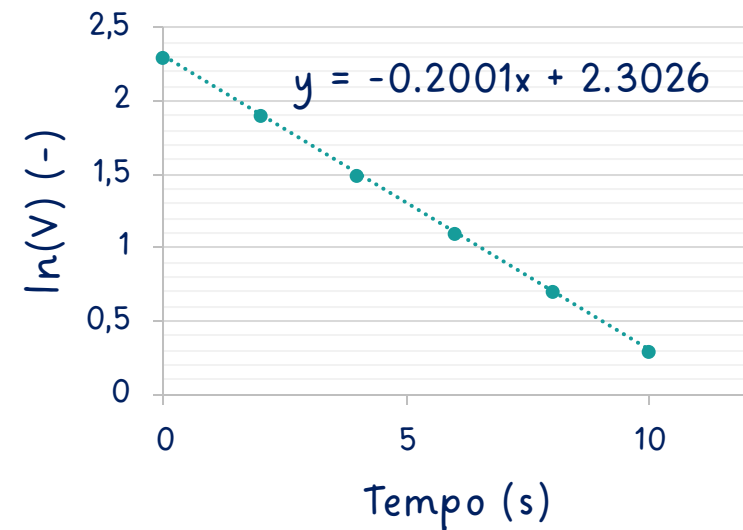
$$\ln(V) = \ln\left[V_0 e^{-\frac{t}{RC}}\right]$$

$$\ln(V) = \ln(V_0) - \frac{t}{RC}$$

$$y = mx + b$$

$$RC = (5.00 \pm ?) \text{ s}$$

t (s)	Ln(V) (V)
0	2.30
2	1.90
4	1.50
6	1.10
8	0.70
10	0.30



Espelho Côncavo

Comparação de valores

6. Compare os valores do raio de curvatura obtidos pelos dois métodos e comente os resultados.

$$\langle R \rangle = (42.9 \pm 0.7) \text{ cm}$$

$$R = (42.8 \pm 0.07) \text{ cm}$$

$$1.63\%$$

$$I_{\text{relativa}} = \frac{\sigma_R}{R} \times 100\%$$

$$0.16\%$$

$$[42.2, 43.6] \text{ cm}$$

$$[42.73, 42.87] \text{ cm}$$

Erros experimentais?



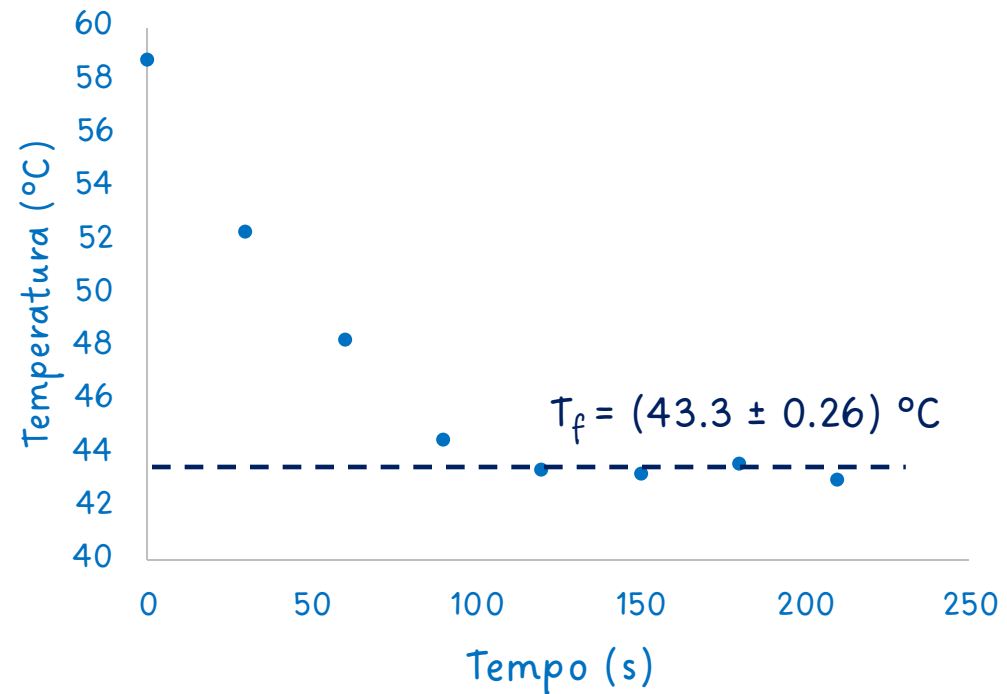
Termístor

Temperatura de Fusão do Ácido Láurico

Coloque, com cuidado, o termístor dentro do tubo *ependorf* que contém uma pequena quantidade de ácido láurico. Feche o tubo e coloque-o em “banho-maria” no copo *erlenmeyer* com água quente, a cerca de 60°C. Espere alguns instantes até o ácido láurico fundir completamente. Depois, retire o tubo do banho-maria e registre a resistência do termístor em função do tempo, **em intervalos de 30 s**. Esboce o gráfico da curva de arrefecimento, $T(t)$ do ácido e determine, a partir do gráfico, a temperatura de fusão do ácido láurico.



t (s)	$T \pm ?$ (°C)
0	58.77
30	52.31
60	48.25
90	44.52
120	43.40
150	43.20
180	43.60
210	43.00

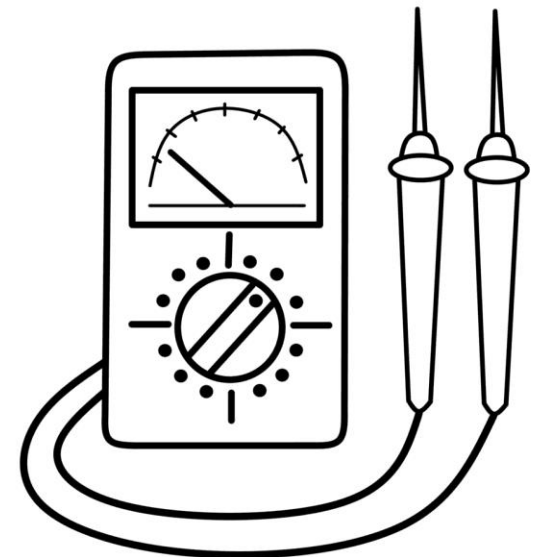


Multímetros

Algumas informações úteis

- Escolher sempre a melhor escala para fazer as medições

Minimizar a incerteza sempre!



Multímetros

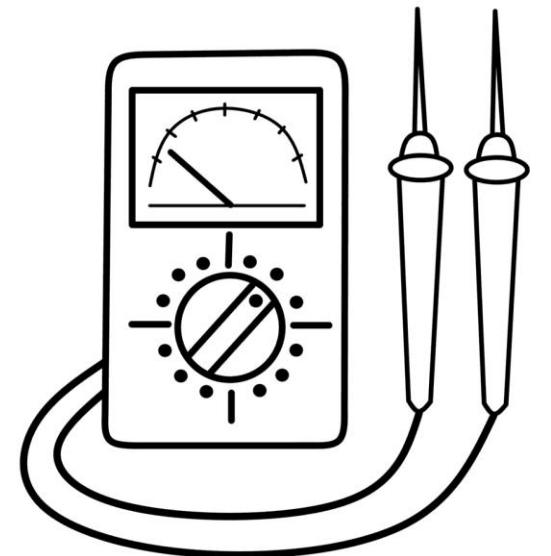
Algumas informações úteis

- Escolher sempre a melhor escala para fazer as medições

Minimizar a incerteza sempre!

- Se queimarem os fusíveis do multímetro normalmente dão um segundo, mas nunca um terceiro!

Usar sempre no modo voltímetro entre medidas!



Multímetros

Algumas informações úteis

- Escolher sempre a melhor escala para fazer as medições

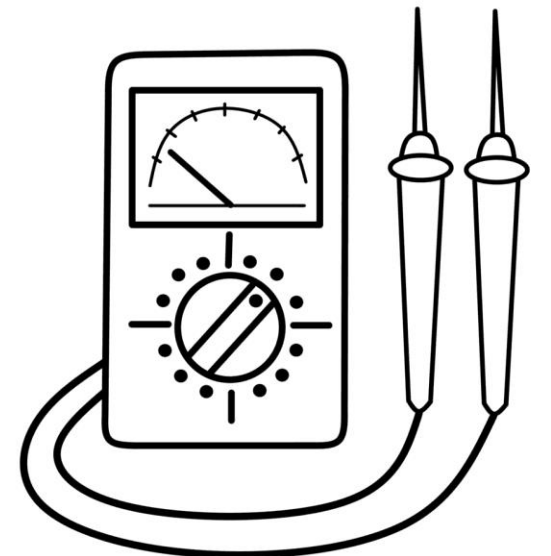
Minimizar a incerteza sempre!

- Se queimarem os fusíveis do multímetro normalmente dão um segundo, mas nunca um terceiro!

Usar sempre no modo voltímetro entre medidas!

- Há experiências em que a resistência interna de um multímetro é significativa.

Decorar o número $R=10M\Omega$!



Alguns detalhes sobre a prova experimental

Introdução

- Os problemas experimentais vão ter alguma parte que não é descrito completamente.
- Pode haver algum tipo de deduções de pequena escala a partir do protocolo.
- Não é suposto que a quantidade de medidas ou os cálculos numéricos sejam muito extensos.

3 Experimental skills

3.1 Introduction

The theoretical knowledge required for carrying out the experiments must be covered by Section 2 of this Syllabus.

The experimental problems should contain at least some tasks for which the experimental procedure (setup, the list of all the quantities subject to direct measurements, and formulae to be used for calculations) is not described in full detail.

The experimental problems may contain implicit theoretical tasks (deriving formulae necessary for calculations); there should be no explicit theoretical tasks unless these tasks test the understanding of the operation principles of the given experimental setup or of the physics of the phenomena to be studied, and do not involve long mathematical calculations.

The expected number of direct measurements and the volume of numerical calculations should not be so large as to consume a major part of the allotted time: the exam should test experimental creativity, rather than the speed with which the students can perform technical tasks.

The students should have the following skills.

3.2 Safety

Knowing standard safety rules in laboratory work. Nevertheless, if the experimental set-up contains any safety hazards, the appropriate warnings should be included in the text of the problem. Experiments with major safety hazards should be avoided.

3.3 Measurement techniques and apparatus

Being familiar with the most common experimental techniques for measuring physical quantities mentioned in the theoretical part.

Knowing commonly used simple laboratory instruments and digital and analog versions of simple devices, such as calipers, the Vernier scale, stopwatches, thermometers, multimeters (including ohmmeters and AC/DC voltmeters and ammeters), potentiometers, diodes, transistors, lenses, prisms, optical stands, calorimeters, and so on.

Sophisticated practical equipment likely to be unfamiliar to the students should not dominate a problem. In the case of moderately sophisticated equipment (such as oscilloscopes, counters, rate meters, signal and function generators, photo gates, etc), instructions must be given to the students.

3.4 Accuracy

Being aware that instruments may affect the outcome of experiments.

Being familiar with basic techniques for increasing experimental accuracy (e.g. measuring many periods instead of a single one, minimizing the influence of noise, etc).

Knowing that if a functional dependence of a physical quantity is to be determined, the density of taken data points should correspond to the local characteristic scale of that functional dependence.

Expressing the final results and experimental uncertainties with a reasonable number of significant digits, and rounding off correctly.

3.5 Experimental uncertainty analysis

Identification of dominant error sources, and reasonable estimation of the magnitudes of the experimental uncertainties of direct measurements (using rules from documentation, if provided).

Distinguishing between random and systematic errors; being able to estimate and reduce the former via repeated measurements.

Finding absolute and relative uncertainties of a quantity determined as a function of measured quantities using any reasonable method (such as linear approximation, addition by modulus or Pythagorean addition).

3.6 Data analysis

Transformation of a dependence to a linear form by appropriate choice of variables and fitting a straight line to experimental points. Finding the linear regression parameters (gradient, intercept and uncertainty estimate) either graphically, or using the statistical functions of a calculator (either method acceptable).

Selecting optimal scales for graphs and plotting data points with error bars.